

CAPÍTULO 2

Viabilidad del uso de la técnica de ultrasonidos para detectar defectos de curado en hormigones

M. Martínez Valera, E. Moreno Fernández y A. Cobo Escamilla

RESUMEN

Se pretende evaluar la viabilidad del uso de la técnica de ultrasonidos para detectar defectos de curado en el hormigón. Para ello se ha elaborado un plan experimental, con probetas cúbicas de 10 cm x 10 cm x 10 cm. En el estudio se efectuaron mediciones de propagación de ondas ultrasónicas planteando dos series de probetas: en la primera de ellas, se han tenido en cuenta siete ambientes distintos de curado, realizando mediciones a distintas edades, con rotura a compresión a 28 días. En la segunda serie de probetas, únicamente se han considerado tres ambientes: cámara húmeda, laboratorio y exterior, efectuando mediciones en los días de rotura a compresión a 7 y 28 días.

Los resultados de los ensayos permiten analizar el comportamiento de los hormigones en distintos ambientes de curado. Analíticamente se han podido relacionar los resultados obtenidos de velocidad de propagación de las ondas ultrasónicas con la resistencia a compresión de los hormigones comparando los módulos de elasticidad estático (E_e) y dinámico (E_d).

ABSTRACT

Seeks to assess the feasibility of the use of the technique of ultrasound to detect defects of concrete curing. This plan has been developed an experimental, with cubic specimens of 10 cm x 10 cm x 10 cm. In the study were measurements of ultrasonic wave propagation considering two series of specimens: in the first one, have been taken into account seven different curing regimes, performing measurements at different ages, break 28-day compressive. In the second series of test, only three regimes have been considered: wet, laboratory and outside, making measurements in the break to compression at 7 days and 28 days.

The results of the tests allow analyzing the behavior of concrete in different curing environments. Analytically have could be results of propagation velocity of ultrasonic waves with the compressive strength of concrete by comparing the modulus of elasticity static (E_e) and dynamic (E_d).

1. Introducción

El hormigón como material estructural heterogéneo, requiere controles de calidad para cumplir los requisitos que establece la Normativa vigente.

La Instrucción Española del Hormigón Estructural (EHE-08) en el artículo 1, define las exigencias requeridas a las estructuras de edificación así como los materiales que las componen.

Para ello, en el artículo 86.5.4 se establecen distintas modalidades de control en lo que se refiere a la resistencia del hormigón. En el artículo 86.7 se especifican los casos en los que la dirección facultativa puede establecer ensayos informativos para obtener datos adicionales y de esta manera decidir sobre el rechazo o aceptación del lote. En el artículo 86.8 se describen los ensayos previstos y los requisitos establecidos por la Instrucción.

En este contexto, se hace referencia al empleo de ensayos no destructivos, condicionando la fiabilidad de los resultados a la

extracción de probetas testigo. Estos ensayos van a ser desarrollados en este estudio y, de forma específica, la velocidad de propagación de pulsos ultrasónicos.

En el trabajo realizado, se interrelacionan los datos relativos a la velocidad de propagación de impulsos ultrasónicos a través del hormigón, con la resistencia a compresión del mismo. Se analiza la influencia que tienen los distintos tipos de curado del hormigón en los resultados obtenidos, con el fin de poder predecir comportamientos futuros del hormigón considerado.

2. Proceso experimental

2.1. Materiales y ambientes de curado

El hormigón fabricado H-25 tenía una resistencia característica a compresión a los 28 días de 25 N/mm^2 .

La dosificación de la mezcla de hormigón utilizado en este estudio fue de: 1 : 1,87 : 3,14 (cemento Portland, árido fino y árido grueso) y la relación agua-cemento (a/c) igual a 0,5. En la Tabla 1 se especifican los datos de la dosificación empleada.

Amasada	Denominación	Ambiente	Rotura	Nº Probetas
1	PA	C. Húmeda	28 días	21
	PB	Laboratorio		
	PC	Exterior		
	PD	Sumergidas		
	PE	. Horno a 40º		
	PF	Aisladas		
	PG	Marino		
2	PA7	C. Húmeda	7 días	18
	PB7	Laboratorio		
	PC7	Exterior		
	PA28	C. Húmeda	28 días	
	PB28	Laboratorio		
	PC28	Exterior		

Tabla 1 – Amasadas y ambientes donde se ha realizado los curados del hormigón

2.2. Fabricación de probetas de hormigón

La fabricación de las 39 probetas se ha llevado a cabo en dos amasadas, siendo idénticas las características en las dos amasadas: En la primera de ellas, se han fabricado 21 probetas y en la segunda amasada, 18 probetas.

Tras obtener la dosificación de los componentes se ha realizado el amasado del hormigón en la amasadora. Así, se han mezclado primero los materiales en seco durante 15 segundos para homogeneizar la muestra. Después se agregó el agua y se amasó durante 2 minutos. Se dejó reposar la mezcla un minuto para, finalmente, amasar durante otro minuto más.

Con el hormigón resultante se ha realizado el vertido de forma continua en las probetas cúbicas de 10 x 10 cm. Se han rellenado los moldes en 2 tongadas y se han compactado picando con barra (25 golpes), para facilitar la salida del aire ocluido, quedando las dos tongadas unidas entre sí.

A continuación las probetas se han desmoldado tras 24 horas de su fabricación. El curado se realizó en diferentes ambientes, durante 7 y 28 días, según se ha descrito en la tabla 1.

3. Resultados

Los resultados obtenidos se han obtenido realizando dos tipos de análisis, el primero de ellos un análisis experimental, en el que se ha tomado el peso de cada probeta, se ha medido el tiempo de propagación del pulso ultrasónico en distintos días y se ha roto a compresión a 7 y 28 días según se describe en la tabla 1. Una vez que se han obtenido los datos del proceso experimental, se han analizado de una manera analítica. Se han obtenido los módulos de elasticidad estático y dinámico, así como las velocidades de pulso ultrasónico. En los siguientes apartados se recogen los resultados más destacados.

3.1. Curado en 7 ambientes y rotura a 28 días

En la Figura 1 se observan dos grupos claramente diferenciados. Por un lado, se encuentran los hormigones curados en presencia de un alto índice de humedad, con altas resistencias a compresión y por otro lado, los hormigones curados en diversos ambientes, tienen un comportamiento similar.

Los hormigones curados en ambiente marino y en horno a 40°C, presentan una mayor ductilidad, ya que presenta una mayor deformación para la carga máxima, esto indica su gran capacidad de desplazamiento antes de producirse la rotura.

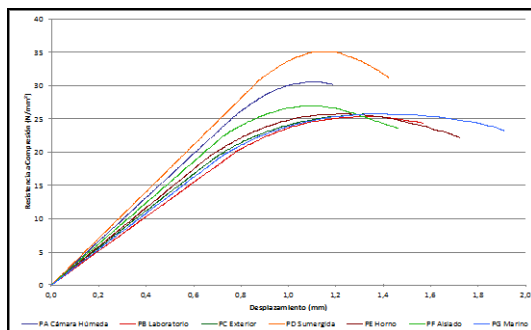


Figura 1 – Diagrama tensión-desplazamiento de las probetas de hormigón curadas en 7 ambientes

En la Figura 2 se observa que las probetas de hormigón sumergidas durante su curado, presentan una mayor correlación entre su módulo de elasticidad estático y dinámico.

El hormigón curado en presencia de un índice de humedad alto, tiene unos módulos de elasticidad mayores al resto.

Se ha representado la relación entre el módulo de elasticidad estático y dinámico. Además, se ha comparado el módulo de elasticidad

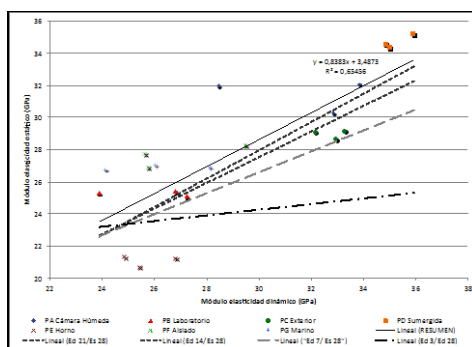


Figura 2 – Módulo de elasticidad estático frente al módulo de elasticidad dinámico

dad dinámico (obtenido de las mediciones de velocidad de propagación de ondas a través del hormigón a distintas edades), con el módulo de elasticidad estático (obtenido de la rotura a compresión a 28 días).

En esta correlación de datos se observa que el comportamiento de las probetas en general se asemeja a las líneas de tendencia marcadas a 7, 14, 21 y 28 días, si bien la línea de tendencia a 3 días queda claramente descolgada del resto.

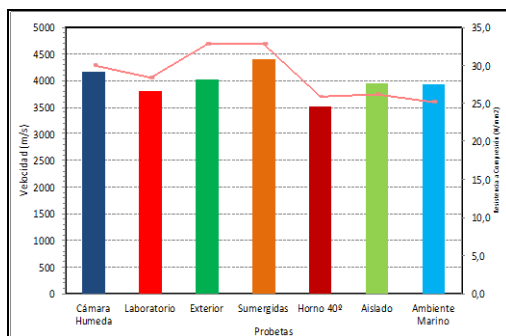


Figura 3 – Módulo elasticidade estático frente al módulo de elasticidade dinámico

La Figura 3 muestra la relación existente entre la velocidad de pulso ultrasónico y la resistencia a compresión. Se observa que la resistencia a compresión es proporcional a la velocidad de ultrasonidos.

Se comprueba que en función del ambiente la velocidad y la resistencia varían de manera similar.

El curado en exterior es el único que no mantiene proporcionalidad en la relación entre su resistencia y la velocidad de pulso. Esto es debido a la variabilidad en las condiciones climatológicas.

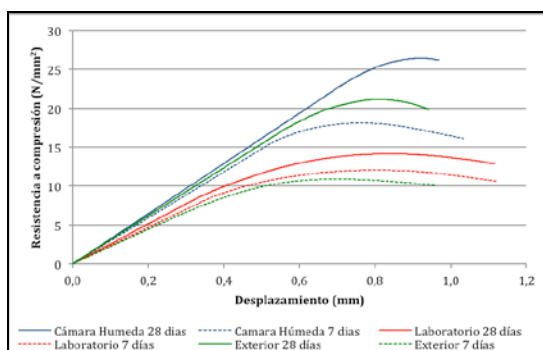


Figura 4 – Diagrama tensión-desplazamiento

3.2. Curado en 3 ambientes y rotura a 7 y 28 días

En el Figura 4 se aprecia que el curado en cámara húmeda es el que mejores resultados presenta. Se desprende que la humedad en el curado es un factor determinante para el resultado final.

Atendiendo a los valores obtenidos el hormigón curado en el exterior presenta una gran variabilidad en sus resultados, este curado está supeditado a las condiciones climatológicas que se hayan dado en el periodo de tiempo del curado.

La resistencia a compresión del hormigón curado en cámara húmeda y exterior sufre un incremento significativo, atendiendo a la rotura efectuada a 7 días y a los 28 días. Sin embargo el incremento de la resistencia del hormigón curado en laboratorio, es mínima si comparamos la rotura a 7 y 28 días.

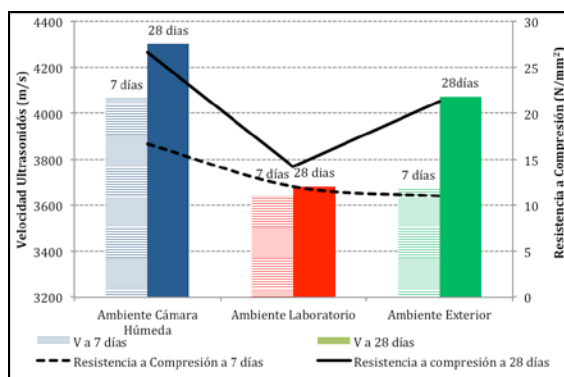


Figura 5 – Resistencia a compresión frente a velocidad de pulso ultrasónico en días de rotura distintos

La Figura 5 se relaciona la velocidad de pulso obtenida a 7 y 28 días con sus resistencias a compresión.

Se muestra la resistencia a compresión en dos etapas de curado con sus respectivas velocidad de pulso ultrasónico.

Existe un patrón de comportamiento de la velocidad de ultrasonidos y la resistencia a compresión independientemente del curado en el que se realice.

En la Figura 6 se representan los valores y las líneas de tendencia de la resistencia a compresión en función del módulo de elasticidad dinámico.

El gráfico indica que a 7 días los hormigones curados en laboratorio y en exterior, presentan un comportamiento similar.

La resistencia a 7 días del hormigón curado en cámara húmeda presenta unos valores parecidos a los obtenidos en el curado exterior a 28 días.

Se observa que la resistencia a compresión y el módulo de elasticidad dinámico guardan una muy buena correlación lineal, en todas las etapas de curado.

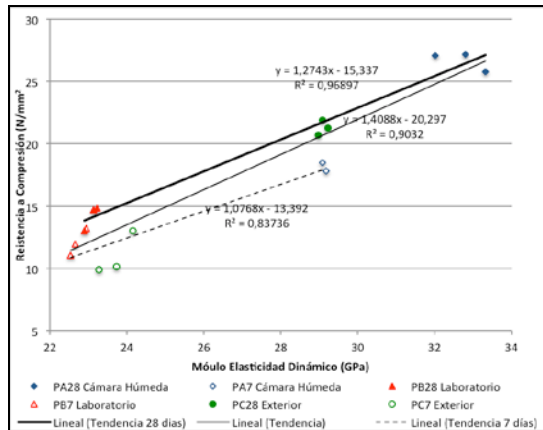


Figura 6 – Comparativa de la correlación que guarda la resistencia a compresión y el módulo de lasticidad dinámico

4. Conclusiones

Los hormigones curados en ambientes con alto índice de humedad presentan altas resistencias a compresión.

El hormigón curado sumergido en agua tiene la mayor resistencia a compresión.

Los hormigones curados en ambiente marino y en horno a 40°C presentan la mayor ductilidad. La menor ductilidad la encontramos en los hormigones curados en cámara húmeda y ambiente marino.

El hormigón curado en distintos ambientes tiene una relación directa en su resistencia a compresión. A 7 días, la resistencia a compresión del hormigón curado en cámara húmeda es un 40% mayor que el hormigón curado en laboratorio. Además, a 28 días de curado este porcentaje se eleva hasta el 92%.

Existe una correlación directa entre la resistencia a compresión y el módulo de elasticidad dinámico, obtenido por medio de la velocidad de impulso de ultrasonidos.

La correlación lineal entre la resistencia a compresión y la velocidad de pulso ultrasónico presenta mayor fiabilidad de resultados a 28 días, frente a edades tempranas.

Referencias Bibliográficas

Fernandez Canovas, M. (2007). "Hormigón: adaptado a la Instrucción de Recepción de Cementos y a la Instrucción de Hormigón Estructural EHE."

Ministerio de Fomento. "Instrucción de Hormigón EHE-08".

UNE-EN583-1. Ensayos no destructivos. Examen por ultrasonidos. AENOR, 1999.

UNE-EN12390-1,3 y 4. Ensayos de hormigón endurecido. AENOR, 2005.

Hellier R, C. (2003). Handbook of Nondestructive Evaluation.

Hasan Yildirim, Ozkan Sengul, Modulus of elasticity of substandard and normal concretes, Construction and Building Materials, Volume 25, Issue 4, April 2011, Pages 1645-1652, ISSN 0950-0618.